



中国计算机学会
学术著作丛书

周昌乐 编著

心脑计算举要





中国计算机学会
学术著作丛书

TP18
273

心脑计算举要

国家自然科学基金资助 (项目批准号: 60275023)

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

20 世纪末,随着非经典计算革命的悄然兴起,丘奇-图灵论题遇到了前所未有的挑战,再加上脑科学研究的蓬勃发展,人工智能因而也出现了新的转机。

本书正是在这样的背景下来论述人工智能新近出现的一些研究动向和成果,围绕人类所具有的心脑功能机制以及人工智能业已形成的符号逻辑、神经连接、遗传演化及其新近发展起来的基因计算、量子计算和群体计算等方法,就语言理解、智能群体、意识模型、情感计算和艺术创造等方面作了详细阐述。其中也包括了作者本人的研究成果,特别是一些“半成品”成果。

本书可作为高等院校研究生人工智能高级课程的教材,也可供有关专业的教师和研究参考。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

心脑计算举要/周昌乐编著. —北京:清华大学出版社,2003

(中国计算机学会学术著作丛书)

ISBN 7-302-06243-9

I. 心… II. 周… III. 人工智能—研究 IV. TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 001603 号

出 版 者: 清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)

[http:// www. tup. com. cn](http://www.tup.com.cn)

责任编辑: 薛 慧

封面设计: 常雪影

版式设计: 肖 米

印 刷 者: 北京市清华园胶印厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 787×1092 1/16 **印张:** 15.75 **字数:** 304 千字

版 次: 2003 年 3 月第 1 版 2003 年 3 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-06243-9/TP·3738

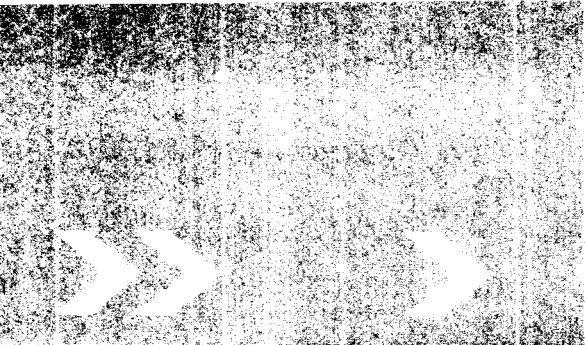
印 数: 0001~4000

定 价: 35.00 元

评审委员会

中国计算机学会学术著作丛书

- 名誉主任委员：张效祥
- 主任委员：唐泽圣
- 副主任委员：陆汝钤
- 委员：(按姓氏笔划为序)
王 珊 吕 建 林惠民
李晓明 罗军舟 郑纬民
施伯乐 焦金生 谭铁牛



序

Preface

第

一台电子计算机诞生于 20 世纪 40 年代。到目前为止,计算机的发展已远远超出了其创始者的想象。计算机的处理能力越来越强,应用面越来越广,应用领域也从单纯的科学计算渗透到社会生活的方方面面:从工业、国防、医疗、教育、娱乐直至人们的日常生活,计算机的影响可谓无处不在。

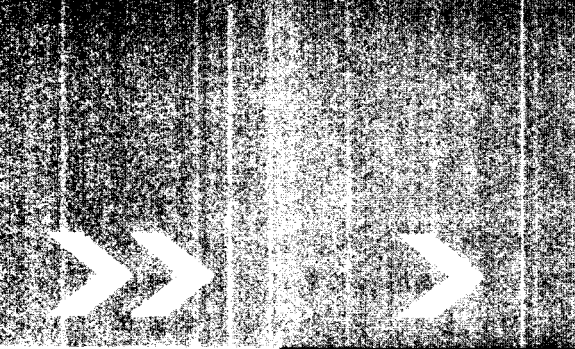
计算机之所以能取得上述地位并成为全球最具活力的产业,原因在于其高速的计算能力、庞大的存储能力以及友好灵活的用户界面。而这些新技术及其应用有赖于研究人员多年不懈的努力。学术研究是应用研究的基础,也是技术发展的动力。

自 1992 年起,清华大学出版社与广西科学技术出版社为促进我国计算机科学技术与产业的发展,推动计算机科技著作的出版,设立了“计算机学术著作出版基金”,并将资助出版的著作列为中国计算机学会的学术著作丛书。时至今日,本套丛书已出版学术专著近 50 种,产生了很好的社会影响,有的专著具有很高的学术水平,有的则奠定了一类学术研究的基础。中国计算机学会一直将学术著作的出版作为学会的一项主要工作。本届理事会

将秉承这一传统,继续大力支持本套丛书的出版,鼓励科技工作者写出更多的优秀学术著作,多出好书,多出精品,为提高我国的知识创新和技术创新能力,促进计算机科学技术的发展和进步做出更大的贡献。

中国计算机学会

2002年6月14日



前言

Foreword



人工智能进入 20 世纪 90 年代,经历了 80 年代整整 10 年的繁荣之后,由于方法论上始终没有突破经典计算思想的藩篱,再次面临着寒冷冬季的考验。以彭罗斯和塞尔为代表的各种反思和批驳论著纷纷涌现,人工智能的研究前景又一次变得暗淡无光。与此同时,神经科学和生命科学却以前所未有的速度迅猛发展,我们有关心脑和生命机制的知识迅速增长。“脑的十年”、“基因时代”也成为时代的口号!

在这种形势下,特别是由于对人脑机制和生命本质的不断深入了解,人工智能研究也开始摆脱经典逻辑计算的束缚,大胆探索起新的非经典计算途径。于是,类脑计算机(brain-like computer)以及生物性计算机(bio-inspired computing machine)的研究,就成为人工智能迎来新曙光而开启的又一个春天。

为了让这春天的暖风尽快吹绿我国学术大地,作为一名深深热爱并长期从事人工智能研究的工作者,我认为有必要将目前国际上有关人工智能研究的最新进展,从一个全新的心脑计算角度介绍给国内学术界。因此不顾自己才浅学疏,大胆编撰这部专著。愿为振兴我国人工智能的研究事业尽一点微薄之力。



本着这样的目的,本书将主要以“举”其“要”者而览之为宗旨。当然,考虑到继承性和完整性,除了强调量子计算、生物计算和集群计算等非经典计算思想及方法外,全书的结构主要围绕着心脑能力的主要方面展开,且在每个方面又只以某个侧面来进行介绍,以求起到窥一斑而见全豹的效果。

全书共分7章。第1章绪论,主要对人工智能的历史、心脑计算的方法以及有关心像理论的主要内容作了概要性论述。第2章至第6章,分别以“语言理解”、“智能群体”、“意识模型”、“情感计算”和“艺术创作”为主题进行介绍,其中人工智能长期形成的各种方法论则通过与有关章节内容的结合来系统阐述,包括新近出现的各种主要的非经典计算思想和方法。最后,在第7章“余论”中,以拙著《无心的机器》为基础,对人工智能有关的哲学问题作了进一步的讨论,特别是讨论了挑战歌德尔定理和图灵-丘奇论题的非经典计算思想对深化人工智能研究可能带来的深远影响。

一部专著的完成不仅仅是作者心血倾注的结果,也得益于许多人直接或间接的帮助,在这里我对他们无私帮助和友爱表示深深的感谢!

首先,最近7年间,我对人工智能的看法有了很大的变化,这主要得益于中国科学院的汪云九研究员和唐孝威院士两位前辈引导,他们通过有关脑与意识的香山科学会议的多次邀请以及私下的脑科学合作研究,将我带入了一个全新的脑科学领域,让我对脑科学的前沿研究有了较为全面的了解。我对他们无私的帮助和关爱表示深深的敬意和感激!

其次我也要特别提到我所在的浙江大学西溪校区视觉与听觉计算实验室的全体同事和历届学生,是他们的热情支持,才使得一个名不见经传的小小实验室,能够把每学期两周一次的人工智能前沿研讨得以长期坚持,本书的大部分内容得益于这种研讨。在一个名利驱动的年代,这种完全自愿、自发和自由的学术讨论能够健康发展,实在是一件令人感动的事。在此,我要感谢所有为研讨会作过专题报告的专家、学者和研究生们,我将永远怀念他们、怀念我们一起度过的美好时光!

最后,我要特别感谢我在学术和精神上的恩师马希文先生的栽培,使我不但打下了学术研究的基础,而且还学到了做人的道理。非常遗憾的是,恩师在此书撰写之前已经离开了人世,作为学生的一点寄托、一种纪念,我愿将此书献给恩师马希文先生!我相信,作为我国人工智能研究领域的先驱之一,弘扬人工智能研究事业一定也是恩师的愿望!

周昌乐

2002.8.28,厦门



目 录

Contents

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究历史	1
1.1.1 思维机器的发展史	2
1.1.2 人工智能的研究史	4
1.1.3 心脑计算的新进展	7
1.2 研究方法	9
1.2.1 从符号逻辑到基因计算	9
1.2.2 从神经联结到量子计算	11
1.2.3 从遗传演化到群体计算	15
1.3 心像理论	17
1.3.1 大脑神经机制	17
1.3.2 心像记忆模型	20
1.3.3 知识表示理论	23
第 2 章 语言理解	26
2.1 句法分析	26
2.1.1 意群语词分割	27

2.1.2	语词范畴标注	30
2.1.3	句法依存分析	33
2.2	语义获取	37
2.2.1	蒙塔鸠语法	38
2.2.2	逻辑语义表示	41
2.2.3	语义映射规则	47
2.3	语篇理解	53
2.3.1	语篇表述理论	53
2.3.2	指代消解算法	59
2.3.3	语言理解系统	66
第3章	智能群体	70
3.1	智能主体	71
3.1.1	应变型主体	71
3.1.2	认知型主体	76
3.1.3	复合型主体	83
3.2	群体组织	87
3.2.1	通信协议	88
3.2.2	协调机制	94
3.2.3	群体互动	98
3.3	问题求解	103
3.3.1	问题群体规划	103
3.3.2	任务分担策略	108
3.3.3	结果共享策略	110
第4章	意识模型	115
4.1	意识理论	115
4.1.1	意识的科学研究趋势	116
4.1.2	意识活动的神经基础	118
4.1.3	意识的科学解释理论	120
4.2	神经模型	122
4.2.1	视觉觉知模型	122
4.2.2	意识的阶段性模型	125
4.2.3	神经动力学模型	129
4.3	量子模型	133

4.3.1	量子意识的理论分析	133
4.3.2	意识的量子计算模型	137
4.3.3	意识同步的量子算法	141
第 5 章	情感计算	147
5.1	情感识别	147
5.1.1	情感信息获取	148
5.1.2	话语情感识别	151
5.1.3	面部表情分析	155
5.2	情感发生	158
5.2.1	人类情感机制	158
5.2.2	情感计算模型	161
5.2.3	情感化智能计算	167
5.3	情感表现	170
5.3.1	情感表现模型	171
5.3.2	情感多媒体表达	172
5.3.3	情感化计算机	174
第 6 章	艺术创作	177
6.1	机器艺术	177
6.1.1	机器音乐艺术	178
6.1.2	机器视觉艺术	181
6.1.3	机器文学艺术	182
6.2	创造模型	185
6.2.1	概念空间创造模型	186
6.2.2	联想、类推和归纳	189
6.2.3	自完善创造模型	192
6.3	计算诗学	195
6.3.1	机器创作诗歌	195
6.3.2	诗歌生成的遗传算法	197
6.3.3	诗歌谱曲方法	199
第 7 章	余论	204
7.1	逻辑困境	204
7.1.1	哥德爾的两个定理	205

7.1.2	斯科伦进一步的结论·····	206
7.1.3	丘奇-图灵论题 ·····	207
7.2	计算哲学 ·····	208
7.2.1	心智能被计算·····	208
7.2.2	心智不能被计算·····	209
7.2.3	图灵测验·····	210
7.3	超越经典 ·····	212
7.3.1	强 AI 与弱 AI ·····	212
7.3.2	人工智能的自然观·····	213
7.3.3	心脑计算展望·····	214
参考文献·····		216

第 1 章

绪论

心

脑计算 (mental computation) 主要是关于心脑结构和功能的计算化研究,与传统人工智能的不同在于研究本体和研究方法上有着很大的差异。在研究本体上,传统人工智能主要以“智”为中心展开;而心脑计算则不然,它主要围绕着更全面的“智”、“情”、“意”三位一体的“心 (mind)”来展开研究。在研究方法上,传统人工智能主要以“算法”为手段来进行“智能”的计算化研究;而心脑计算则不然,除了重要的“算法”手段以外,还采用各种“自然机制”来进行计算化研究。为了对这样的差异有比较全面的认识,以便一开始就能把握心脑计算的核心思想和方法,让我们对人工智能的研究历史、人工智能的研究方法以及心脑本体的最新成果作概要性讨论。这也就构成了本章所要介绍的内容。

1.1 研究历史

比起其他学科,人工智能正式的历史就显得十分短暂,但如果将古代思维机器的研究历史也包括进来,那么算起来也有很长的历程了。读史可以明智,通过回顾历史,也许我们对如何进一步推动人工智能进程有比较清醒的认识。

1.1.1 思维机器的发展史

还是在两千多年前的古希腊,当时人们出于对测量行星位置(占星术)的需要,就运用齿轮传动装置,制造了一种行星计算器。但这还谈不上是真正意义上的思维机器,因为它既不能模拟思维,又不能进行数字计算。人类有意识的构造思维机器的活动,却要比这晚得多。

据目前所掌握的资料,最早具有这种愿望实现的尝试,可以追溯到13世纪中叶。当时,西班牙修道士卢禄(R. Lull, 1237—1315)在《大艺术》一书中,设想了一种思维机器,试图用概念组合方法来代替思维,从而使思维成为一种计算。为此,卢禄还专门设计了一个由六个同心圆盘构成的运动机械装置,用以检验被研究场合所有可能元素组合的逻辑原则。虽然卢禄本人并没有具体制造出可供使用的思维机器,但这种构想却大大激发了后来科学家们的思想,无疑为后来的思维(计算)机器发明开了先河。

到了1623年,一位名叫希尔德(W. Schiehard)的法国数学家,经过数年的研究,设计了一台可以进行四则运算的思维演算机模型。该模型由齿轮传动装置构成,包括了加法器、乘法器和记录中间结果的寄存器三个部分。遗憾的是,这一模型还没有来得及建造完毕,就毁于一场大火。

也许是天缘凑巧,就在希尔德的演算机被大火烧毁这一年,法国数学家帕斯卡(B. Pascal, 1623—1662)降生了,并在1642年刚满20岁的那一年,天才的帕斯卡终于制造出了能够进行加法运算的世界第一台计算机。当然,这种机器也是由机械齿轮系统组成的。计算操作由三个步骤完成:拨动齿轮输入第一个数,再拨动齿轮输入第二个数,操纵加法装置即可得到两数之和。目前,巴黎博物馆里还保存着数台当年帕斯卡制造的计算机。

大约在1671年左右,德国数学家莱布尼茨(G. W. Leibniz, 1646—1716,就是受到《易经》八卦启发创立二进制和发明了微积分的那位大名鼎鼎的数学家、数理逻辑奠基人),进一步发展了帕斯卡的构想,发明了一种梯形齿轮,从而圆了希尔德当年被一场大火烧掉的梦想,实现了一次操作即可直接完成乘除运算,完成了四则运算计算机器的建造。

自此以后,许多科学家在这方面做了大量改进工作。特别是经过L. H. 托马斯、W. 奥德尔等人的改造后,生产出多种手摇台式计算机,并很快风行于世界。由于这些早期生产的计算机采用的是机械装置,所以后世也称这类计算机为机械式计算机。有趣的是,时至今日,仍有科学家孜孜不倦于制造这种机械式计算机(Hillis, 1998)。

到了19世纪初,由于法国工程师J. M. 雅卡尔发明了控制纺织机的穿孔卡片,英国数学家巴比吉(C. Babbage, 1792—1871)深受启发,提出了一种带有程序控制

的全自动计算机器的设计思想,并于1822年建造了第一台这种样机,当时取名为“差分机”,可以进行差分运算并用于计算多项式数值表。

这种计算机虽然依旧采用机械装置构造,但由于其运算可以通过事先编制的程序(通过穿孔卡片)来控制,因此计算过程是全自动的。巴比吉的学生莱温赖斯(A. Lovelace)还专门为这台计算机编制了第一个程序,莱温赖斯也因此成为世界上第一位程序员。

巴比吉后来致力于对“差分机”的改进工作,并于1834年设计了一种称为“分析机”的蓝图。这种计算机的原理已经具备现代计算机体系结构的特点,整个系统由寄存器、运算器、控制器以及输入输出设备构成,运算过程采用程序控制方式实现,在程序中还可以含有条件转移这样高级的指令。遗憾的是,由于受当时技术上的限制,最终未能造出样机。但由于巴比吉对思维机器无与伦比的贡献,被后人誉为现代计算机之父,人们将永远记住和怀念这位天才的计算机事业的先驱!

巴比吉之后的一百年间,又有不少科学家为计算机器的不断完善作出了贡献。到了1941年,德国电气工程师K. 楚泽采用继电器作为元件,制造出了世界上第一台机电式计算机,终于实现了巴比吉“分析机”的理想。

接着便是连台好戏。在真空电子管发明的基础上,1943年英国皇家空军为了破译德军密码,掌握战场主动权(时值二战时期),组织一大批科学家,其中有计算机理论开创者、英国数学家图灵(A. M. Turing, 1912—1954),研制成功了世界上第一批电子计算机。这种被命名为“巨人”(COLOSSUS)的计算机共生产了10台,战争结束后即被全部秘密销毁,因此长期以来一直鲜为人知。

值得一提的是,1945年,图灵在为英国ACE设计计算机时,提交过一份长达50页的设计说明书,在提出的21种设计特点中就有15种后来由他人重新提出并在机器上实现了,如变址寄存器、微程序设计、虚拟寄存器和变指令系统等。

在“巨人”机诞生之后,1946年美国也成功地制造了一台电子计算机,这便是享誉全球的“ENIAC”(电子数字积分计算机)。ENIAC使用了18 000个电子管(“巨人”只有2 500个),全机重30吨(“巨人”重约4吨),耗电150千瓦(“巨人”只有4.5千瓦),占地面积170平方米(“巨人”为10平方米,高2.3米),计算速度每秒5 000次加法运算(“巨人”每秒只能处理5 000个字符)。比古老的手摇式计算机要快1 000倍,比人工计算约快20万倍,从此,现代意义上的计算机进入了我们的生活。

目前,经过晶体管、集成电路、大规模集成电路和超大规模集成电路的不断发展,计算机的运算速度越来越快(最高已达到每秒数亿万次运算),功能也越来越全面。特别是,除了传统的电子计算机外,还有许多种类的未来计算机的新形式,比如像量子计算机,利用量子原理来进行计算的计算机;生物计算机,利用生物、特别是生物大分子的自然机制来进行计算的计算机;光学计算机,利用光学原理来建造

光开关元件和光逻辑器件的计算机;超导计算机,利用超导体器件作为元器件的计算机;分子计算机,采用有机分子作为元件构成的计算机;单电子计算机,靠单个电子的运动处理信息的计算机(利用单电子的隧道效应实现计算过程)等等。此外,即使是传统的电子计算机,未来的形式也将会有极大的变化,如可穿戴式计算机以及由电子油墨薄纸般的显示屏与 V 芯片同样薄纸般的主机构成的超薄型计算机等。

总之,随着科学技术研究的不断深入,未来计算机的前景十分诱人,为人工智能的研究提供了越来越先进的实现工具,也为心脑计算的研究开辟了广阔的前景。

1.1.2 人工智能的研究史

现代计算机的诞生及其所表现出来的越来越强大的计算能力,促使科学家们再次考虑机器能不能像人脑一样思维的问题。1950 年,还是那位英国著名数学家图灵,运用他非凡的才智,在《心智》杂志上发表了一篇题为“计算机器与心智”的文章(Turing,1950),第一次提出了“机器能不能思维”这一重要课题。从此也拉开了人类史上人工智能研究的序幕。

所谓人工智能,指的是这样一种科学研究领域,它主要研究如何让机器去做过去只有人才能做的智能工作。1956 年夏天,作为对图灵所提出课题的一种响应,美国的一些科学家,主要有明斯基(M. L. Minsky)、香农(C. Shannon)、莫尔(T. Moore)、塞缪尔(A. Samuel)、罗杰斯特(N. Lochester)、塞尔夫利奇(O. Selfridge)、西蒙(H. A. Simon)、纽厄尔(A. Newell)以及麦卡锡(J. McCarthy)等人,他们在美国达德茅斯大学联合发起召开了第一次人工智能学术研讨会。经麦卡锡提议,会上正式决定使用“人工智能(artificial intelligence)”来概括会议所关心的研究内容。从此,也就宣告了作为一门独立学科的正式诞生。

人工智能学科一经正式形成,在最初的十年时间里(大约在 1955—1965 之间,史称早期的热情期),主要围绕着问题求解研究展开,产生了以机器翻译、智力游戏、人机博弈、定理证明和字符识别等为主的一大批研究成果,并同时也形成逻辑符号、神经网络和遗传演化三种人工智能主要方法的雏形,因此也确定了人工智能进一步深入研究的基础。

自然语言的机器翻译也许是人工智能研究中最早的研究领域。电子计算机刚一问世,人们就有了机器翻译的想法。到了 1953 年,美国乔治敦大学的语言系进行了第一次机器翻译的实验。1954 年,IBM 公司则在 701 机上作了俄英翻译的公开表演。1956 年,另一个对自然语言处理有深远影响的成就是乔姆斯基(N. Chomsky)提出来的一种转换生成语法,开创了形式语言的研究先河。

在人机博弈和定理证明方面,塞缪尔编制的跳棋程序,具有一定积累经验的自学习能力,并于 1962 年荣获美国州级跳棋冠军(Samuel,1963)。作为数学定理证明的最初尝试,纽厄尔编制的“逻辑理论家”程序可以模拟人类用数理逻辑证明定

理的思想,采用分解、代入和替换等规则来进行定理自动证明(Newell,1963a)。结果在1963年,“逻辑理论家”程序就独立完成了英国数学家怀特海和罗素所著的《数学原理》第一章中的全部定理的证明(Whitehead,1950)。1965年,在美籍华裔数理逻辑学家王浩和美国数理逻辑学家鲁宾逊的努力下,采用消解方法,使得定理机器证明取得了长足的进步,结果是,机器不仅在数分钟内证明了《数学原理》中的全部命题演算定理,而且还可以证明该书中大部分谓词演算的定理。1963年,斯莱格尔通过符号积分程序的编制,解决了一些困难的数学问题(Slagle,1963)。

早期人工智能研究的另一个领域是问题求解。纽厄尔、肖和西蒙合作编制了通用问题求解程序 GPS(Newell,1963b)。该程序能够求解 11 种不同类型的问题,其中包括逻辑表达式的符号处理。

在字符识别方面,1956年,塞尔夫利奇研究出第一个字符识别程序。而到了1965年,美国 MIT 人工智能实验室的罗伯茨(Roberts)编制了多面体识别程序,开创了计算机视觉的新领域。

除了上述以符号逻辑方法为基础的人工智能研究外,早期人工智能在神经模型和演化计算方面也同样作了初步的探索。1957年,罗森勃兰特(Rosenblatt)首次引入了感知机的概念,将神经元用于感知和学习能力的模拟,开始了联结主义方法的研究。同样,大约在20世纪60年代,福格尔(Fogel,1966)的演化规划和荷兰德(Holland,1975)的遗传算法、斯威佛(Schwefel,1977)的演化策略等都分别开始了模仿自然生物进化机制的演化计算研究。

但上述早期的研究方法并没有真正产生任何富有成效的结果,除了解决有限的简单任务之外,当初许下的诺言并没有兑现。接着遇到的种种困难很快使人们对人工智能的发展前景失去了信心。这样,在经过最初十年的热情期之后,人工智能研究遇到了第一次全面挫折,随着人工智能研究基金在全球范围内的削减,人工智能研究进入了低潮(大约在1965—1975之间,史称黑暗期)。

于是人们开始了认真的反思,一方面以德雷福斯(Dreyfus,1979)为代表的哲学学派对强人工智能派进行了无情的批驳;另一方面,以费根鲍姆(Feigenbaum,1977)为代表的人工智能派看到了早期那种“无知识表示”方法的局限性,在人工智能面临种种困难的处境中,认识到要摆脱困境,只有大量使用知识。到了20世纪70年代后期,知识工程、机器学习和专家系统等研究领域迅速兴起,人工智能研究进入了一个以知识表示、获取和利用为主的复兴期(大约在1975—1980之间)。

在此期间,逻辑符号主义方法得到进一步加强,各种知识表示方法层出不穷,逻辑的、文法的、脚本的、框架的、语义网的等等研究应有尽有,特别是以学习机制模拟的研究已成为实现人工智能目标的新途径和主线。在这样的研究带动下,加上各种搜索策略的发展,以专家系统为核心的应用得到空前的成功。另一方面,由于弱人工智能有限目标的主导作用,人工智能各个分支领域,如机器视觉、机器推